

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Juli 2001 (26.07.2001)

PCT

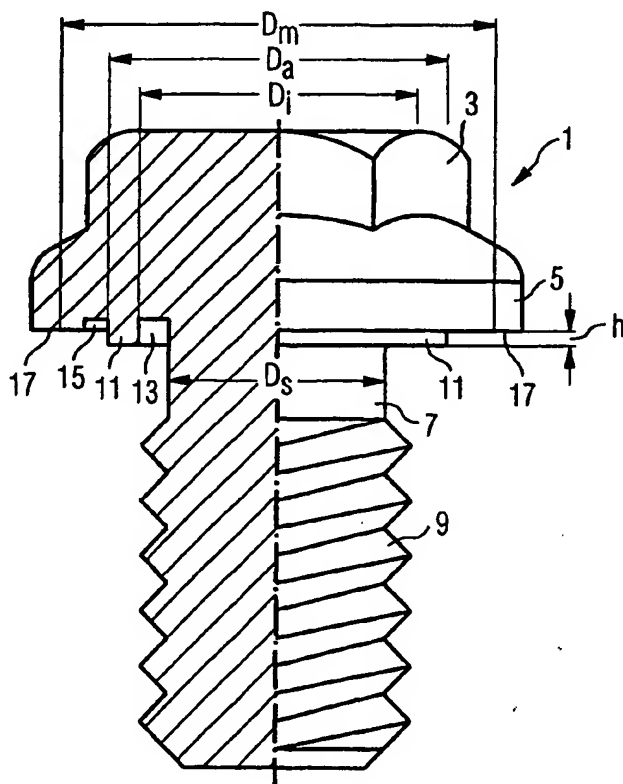
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/53707 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: F16B 39/282, 31/02, G01L 5/24
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/00504
- (22) Internationales Anmeldedatum: 17. Januar 2001 (17.01.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 100 01 857.2 18. Januar 2000 (18.01.2000) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SCHATZ GMBH [DE/DE]; Kölner Strasse 71, 42897 Remscheid (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHATZ, Volker [DE/DE]; Heinrich-Hertz-Str. 10, 42897 Remscheid (DE).
- (74) Anwalt: GLAWE DELFS MOLL; Postfach 26 01 62, 80058 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, KR, US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CONNECTING ELEMENT IN THE FORM OF A SCREW, NUT, OR DISC FOR A SCREW CONNECTION AND A METHOD FOR TIGHTENING THE SAME

(54) Bezeichnung: VERBINDUNGSELEMENT IN FORM EINER SCHRAUBE, MUTTER ODER SCHEIBE FÜR EINE SCHRAUBVERBINDUNG, SOWIE VERFAHREN ZU DEREN FESTZIEHEN



(57) Abstract: The invention relates to a connecting element in the form of a screw, nut, or disc for a screw connection, comprising on its bearing surface at least one projecting section (11) and at least one surface (17) extending radially beyond said projecting section. The height and cross-section of the projecting section are dimensioned in such a way that said section is elastically or plastically deformed to such an extent during the tightening of the screw connection that once a predetermined pre-tensioning force has been reached, the radially extending surface (17) comes to rest against the opposing surface. In the conventional practice of tightening a screw connection to a predetermined tightening torque, the invention enables the tolerance range of the pre-tensioning force corresponding to the tightening torque to be reduced. The modification to the differential ratio torque angle of rotation which occurs when the projecting

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/53707 A1



(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

element has deformed to a sufficient extent and the radially extending surface makes contact, can also be used as the criterion for ending the tightening operation.

(57) Zusammenfassung: Ein Verbindungselement in Form einer Schraube, Mutter oder Scheibe für eine Schraubverbindung hat an seiner Auflagefläche mindestens einen Vorsprung (11) und mindestens einen radial weiter aussenliegenden Flächenbereich (17). Höhe und Querschnitt des Vorsprungs sind so dimensioniert, dass der Vorsprung beim Festziehen der Schraubverbindung elastisch oder plastisch so weit deformiert wird, dass bei Erreichen einer bestimmten Vorspannkraft der radial aussenliegende Flächenbereich (17) zur Anlage gelangt. Bei dem in der Praxis üblichen Festziehen der Schraubverbindung auf ein vorgegebenes Anziehdrehmoment wird durch die Erfindung der Toleranzbereich der dem Anziehdrehmoment entsprechenden Vorspannkraft verringert. Die Änderung des Drehmoment-Drehwinkel-Differenzenquotienten, die dann eintritt, wenn sich der Vorsprung ausreichend verformt hat und der radial aussenliegende Flächenbereich in Kontakt kommt, kann auch als Kriterium für die Beendigung des Anziehvorgangs verwendet werden.

**Verbindungselement in Form einer Schraube, Mutter
oder Scheibe für eine Schraubverbindung,
sowie Verfahren zu deren Festziehen**

Die Erfindung betrifft ein Verbindungselement in Form einer Schraube, Mutter oder Scheibe für eine Schraubverbindung. Das Verbindungselement hat eine ringförmige Auflagefläche, die zur Anlage an einer entsprechenden Gegenfläche eines zu verbindenden Konstruktionsteils bestimmt ist. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Festziehen einer das Verbindungselement enthaltenden Schraubverbindung.

In der modernen Fertigungstechnik ist es wichtig, hochbeanspruchte Schraubverbindungen derart definiert festzuziehen, daß in der Schraubverbindung eine Mindestvorspannkraft erreicht wird. Wird diese unterschritten, ist die Schraubverbindung unterbelastet und kann sich lockern. Andererseits darf eine vorgegebene maximale Vorspannkraft nicht überschritten werden, da sonst die Schraubverbindung überlastet wird und vorzeitig ermüden oder reißen kann. Ziel ist somit die Erreichung einer möglichst engen Toleranz der beim Anziehen der Schraubverbindung erreichten Vorspannkraft.

Die Vorspannkraft kann nicht direkt gemessen werden. Stattdessen wird in der Regel das beim Anziehen der Schraubverbindung ausgeübte Drehmoment gemessen. Aus dem Anziehdrehmoment kann die erreichte Vorspannkraft berechnet werden. Der Zusammenhang zwischen dem Drehmoment und der Vorspannkraft hängt unter anderem ab von den Reibungsverhältnissen zwischen der Schraube und dem mit ihr zu verbindenden Konstruktionsteil, wobei insbesondere die Reibung zwischen der Auflagefläche des Schraubenkopfes oder der Mutter und der entsprechenden Gegenfläche des zu verbindenden Konstruktionsteils eine Rolle spielt. Die Reibungseigenschaften zwischen der Auflagefläche und der Gegenfläche, ausgedrückt durch die Reibungszahl μ , unterliegen in der Praxis erheb-

lichen Schwankungen, abhängig zum Beispiel vom Schmierzustand der jeweiligen Oberflächen. Diese große Toleranz der in der Praxis vorkommenden Reibungszahlen führt zu einer entsprechend großen Toleranz der einem gemessenen Anziehdrehmoment zuzuordnenden Vorspannkraft der Schraubverbindung.

Zur Erläuterung wird auf Fig. 5 der Zeichnungen verwiesen. Diese stellt graphisch den Zusammenhang zwischen dem auf der Abszisse aufgetragenen Anziehdrehmoment M und der auf der Ordinate aufgetragenen Vorspannkraft F dar, und zwar für zwei verschiedene typische Werte der Reibungszahl $\mu = 0,16$ (Gerade A) bzw. $\mu = 0,08$ (Gerade B). Die auf der Koordinatenachse angegebenen Zahlenwerte sind Beispielswerte, die für eine Schraubverbindung mit Gewindemaß M10 typisch sind. Beträgt die Reibungszahl $\mu = 0,16$, so steigt bei zunehmenden Antriebsdrehmoment M die dabei erzielte Vorspannkraft F linear gemäß der Gerade A an und erreicht bei einem vorgegebenen Wert M_A des Anziehdrehmomentes den empfohlenen Mindestwert F_1 von z.B. 15 kN. Beträgt dagegen die Reibungszahl nur $\mu = 0,08$, so steigt bei zunehmendem Anziehdrehmoment M die Vorspannkraft F gemäß der Geraden B steiler an, weil ein geringerer Teil des Anziehmoments M für die Überwindung der Reibung benötigt wird. Beim demselben vorgegebenen Wert M_A des Anziehdrehmoments M_A beträgt die erzielte Vorspannkraft jetzt z.B. $F_2 = 30$ kN. Die Toleranz der Reibungszahl μ führt somit zu einem sehr großen Toleranzbereich ΔF der bei einem gegebenen Anziehdrehmoment M_A erzielten Vorspannkraft. In dem Beispiel gemäß Fig. 5 beträgt der Toleranzbereich $\Delta F = 15$ kN und damit 100% der Mindestvorspannkraft F_1 . Ein so großer Toleranzbereich kann zur Folge haben, daß die Vorspannkraft F_2 an der oberen Bereichsgrenze größer sein kann als die für den betreffenden Schraubentyp empfohlene maximale Vorspannkraft. Dies kann dazu führen, daß eine höher belastbare Schraube verwendet werden muß, als dies für die geforderte Mindestvorspannkraft F_1 nötig wäre.

- 3 -

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verbindeelement einer Schraubverbindung, insbesondere eine Schraube, Mutter oder Scheibe, so auszugestalten, daß der reibungsbedingte Toleranzbereich der bei einem gegebenen Anziehdrehmoment erzielten Vorspannkraft der Schraubverbindung verringert wird. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Montageverfahren für eine derartige Schraubverbindung anzugeben, die das Anziehen der Schraubverbindung auf eine definierte Mindestvorspannkraft ermöglicht, welche von den jeweils vorliegenden Reibungszahlen weitgehend unabhängig ist.

Aus DE 37 41 510 A1 ist ein selbstsicherndes Verbindeelement in Form einer Schraube, Mutter oder Scheibe bekannt, auf dessen Auflagefläche mindestens ein ringförmiger Vorsprung ausgebildet ist. Dieser Ringvorsprung soll sich in das Material der Gegenfläche eingraben und dadurch den Schraubenkopf, die Mutter oder die Unterlegscheibe fixieren, um die Schraubenverbindung gegen Lösen zu sichern. Dem gleichen Zweck dient ein aus DE 36 41 836 A1 bekanntes selbstsicherndes Befestigungselement, das an seiner Auflagefläche Erhöhungen und Vertiefungen in Form von rasterartigen Mustern aufweist, die sich in die Gegenfläche eindrücken und dadurch das Befestigungselement gegen Drehen in Löserichtung sichern sollen.

Die erfindungsgemäße Lösung der angehenden Aufgabe ist im Anspruch 1 gekennzeichnet. Die Unteransprüche beziehen sich auf weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Die erfindungsgemäße Lösung beruht auf der Änderung der Reibungsverhältnisse, die dann eintritt, wenn der mindestens eine Vorsprung, bei Erreichen der für die jeweilige Schraubverbindung vorgeschriebenen Mindestvorspannkraft, soweit verformt worden ist, daß radial außerhalb des Vorsprungs liegende Bereiche der Auflagefläche zur Anlage an der Gegenfläche kommen. Hierdurch tritt eine plötzliche Erhöhung des effektiven Radius der in Reibkontakt stehenden Bereiche von Auflagefläche und Gegenfläche ein. Die Erfin-

derung setzt eine sorgfältige Bemessung des Querschnitts und der Höhe des Vorsprungs voraus, damit exakt bei Erreichen einer vorgeschriebenen Mindestvorpannkraft der Schraubverbindung die nötige Verformung des Vorsprungs erreicht wird und die radial außerhalb des Vorsprungs liegenden Bereiche der Auflagefläche lasttragend werden.

Die Erfindung wird näher anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine erfindungsgemäß ausgebildete Schraube in Seitenansicht, teilweise im Längsschnitt

Fig. 2 im Schnitt eine erfindungsgemäß ausgebildete Schraubverbindung mit Beilagscheibe

Fig. 3 im Schnitt ein anderes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäß ausgebildeten Schraubenkopfes

Fig. 4 ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Schraubenkopfes

Fig. 5 ein graphisches Diagramm des Zusammenhangs zwischen Anziehdrehmoment und Vorspannkraft für eine Schraube gemäß dem Stand der Technik

Fig. 6 ein graphisches Diagramm entsprechend Fig. 5 für eine erfindungsgemäß ausgebildeten Schraube.

Fig. 7 ein graphisches Diagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Montageverfahrens.

Die in Fig. 1 dargestellte Schraube 1 ist eine Bundschraube mit einem Sechskantkopf 3, der durch einen radial vorspringenden Bund oder Flansch 5 vergrößert ist und an den sich ein Schaft 7 mit Gewindeabschnitt 9 anschließt. Bei D_s ist der Durchmesser des Schaftes 7 angegeben, der gleich dem Kerndurchmesser des Gewindeabschnitts 9 ist.

An der Unterseite des Schraubenkopfes 3 bzw. seines Bundes 5 befindet sich die Auflagefläche, die bei konventionellen Schrauben eine ebene Fläche ist. Bei der in Figur 1 dargestellten Schraube ist in der Auflagefläche nahe dem Schaft 7 ein ringförmiger Vorsprung 11 ausgebildet, der radial innen und außen von je einer Ringnut 13, 15 begrenzt ist. Die radial äußere Ringnut 15 trennt den Vorsprung 11 von einem radial weiter außen liegenden ringförmigen Außenbereich 17 der Auflagefläche getrennt. Der ringförmige Vorsprung 11 hat bei dem Ausführungsbeispiel rechteckigen Querschnitt mit einem Innendurchmesser D_i und einen Außendurchmesser D_a . Der Innendurchmesser D_i des Vorsprungs 11 ist vorzugsweise gleich oder nur wenig größer wie der Außendurchmesser des Gewindeabschnitts 9. Der Außendurchmesser D_a ist so gewählt, daß die Ringfläche $(D_a^2 - D_i^2) \pi/4$ nicht größer und vorzugsweise kleiner ist als die Querschnittsfläche $D_s^2 \pi/4$ des Schraubenschaftes 7. Der Vorsprung 11 hat gegenüber dem Außenbereich 17 der Auflagefläche eine Höhendifferenz (Überstand), die rechts in Fig. 1 bei h angegeben ist. Die Höhendifferenz h ist in Fig. 1 übertrieben groß dargestellt. Sie liegt in praktischen Fällen in der Größenordnung von ca. 0,01 mm oder weniger.

Beim Festschrauben der Schraube 1 an einem Konstruktions-
teil kommt zuerst die Stirnfläche des Vorsprungs 11 zur Anlage an der Gegenfläche des Konstruktionsteils. Von diesem Moment an muß beim weiteren Festziehen der Schraube eine Reibungskraft unter dem Vorsprung 11 überwunden werden, deren Größe von der Reibungszahl μ und von dem mittleren Durchmesser $D_a - D_i$ des Vorsprungs 11 abhängt (zusätzlich zu der am Gewindeteil 9 auftretenden Reibungskraft). Beim weiteren Festdrehen der Schraube wird der Vorsprung 11 in Axialrichtung elastisch und eventuell zuletzt auch plastisch verformt, so daß seine Höhe abnimmt. Die Abmessungen des Vorsprungs 11, d.h. seine Breite, die Höhendifferenz h und die durch die Tiefe der Nuten 13, 15 bestimmte Gesamthöhe des Vorsprungs 11 sind in Kombination mit den Werkstoffeigenschaften der Schraube 1 so gewählt, daß bei Erreichen einer vorgegebenen Vorspannkraft die Höhendifferenz h ver-

schwindet und die Stirnfläche des Vorsprungs 11 bündig mit dem Außenbereich 17 der Auflagefläche liegt. In diesem Moment kommt auch der Außenbereich 17 der Auflagefläche in Kontakt mit der Gegenfläche des Konstruktionsteils, und bei weiterem Festziehen der Schraube ist zwischen dem Außenbereich 17 und der Gegenfläche des Konstruktionsteils eine Reibungskraft zu überwinden, die von der Reibungszahl μ und dem bei D_m angedeuteten mittleren Durchmesser des Außenbereichs 17 abhängt. Da dieser mittlere Durchmesser D_m deutlich größer ist als der mittlere Durchmesser des Vorsprungs 11, tritt somit bei einer vorgegebenen Vorspannkraft, bei der die Höhendifferenz h verschwindet, eine abrupte Vergrößerung der zu überwindenden Reibungskraft zwischen der Auflagefläche des Schraubenkopfes 13 und der Gegenfläche des Konstruktionsteils ein.

Die dadurch erzielte Wirkung wird anhand von Fig. 6 erläutert, die in gleicher Weise wie Fig. 5 den Zusammenhang zwischen dem Anziehdrehmoment M und der Vorspannkraft F für zwei verschiedene Werte der Reibungszahl $\mu = 0,16$ (Gerade A') bzw. $\mu = 0,08$ (Gerade B') darstellt. Beträgt die Reibungszahl $\mu = 0,16$, so steigt bei zunehmenden Anziehdrehmoment M die in der Schraube erzeugte Vorspannkraft F gemäß der Geraden A' an und erreicht bei dem vorgegebenen Wert M_A des Anziehdrehmoments den Wert F_1 , der wie in Fig. 5 z.B. 15 kN betragen kann. Beträgt die Reibungszahl $\mu = 0,08$, so steigt die Vorspannkraft bei zunehmenden Anziehdrehmoment M entsprechend der steileren Kurve B' an, bis beim Punkt X, entsprechend einem Drehmoment M_1 , eine Vorspannkraft F_v erreicht ist, bei der der Vorsprung 11 soweit verformt ist, daß die Höhendifferenz h (Fig. 1) verschwindet. In diesem Moment kommt der Außenbereich 17 der Auflagefläche in Reibkontakt mit der Gegenfläche des Konstruktionsteils und es tritt, wie erläutert, eine abrupte Erhöhung des Reibungswiderstandes bzw. des von diesem verursachten Widerstandsdrehmoment ein. Dies hat zur Folge, daß die Kurve B' vom Punkt X an deutlich flacher verläuft als vor dem Punkt X bzw. als die Kurve B in Fig. 5. Hat das Anziehdrehmoment M den vorgegebenen Wert M_A erreicht, so hat die zugehörige,

entsprechend der Kurve B' erreichte Vorspannkraft $F'2$ einen Wert, der deutlich kleiner ist als der Wert $F2$ in Fig. 5 und z.B. nur 24 kN beträgt. Der dem Anziehdrehmoment M_A aufgrund der unterschiedlichen Reibungszahlen $\mu = 0,16$ und $\mu = 0,08$ zugeordnete Toleranzbereich $\Delta F'$ ist deutlich kleiner als der Toleranzbereich ΔF gemäß Fig. 5 für eine konventionelle Schraube und beträgt bei dem Beispiel gemäß Fig. 6 nur 60% der Vorspannkraft $F1$ an der unteren Bereichsgrenze.

Die aus Fig. 5 und 6 entnehmbaren Zahlenwerte sind typische Werte für eine M10-Schraube. Für jeden Schraubentyp und jede Schraubengröße ist durch Norm eine Vorspannkraft vorgeschrieben oder empfohlen. Bei einer M10-Schraube der Güte 8.8 beträgt deren Mindestwert 15 kN und der Höchstwert 25 kN. Gemäß Fig. 5 kann bei einer normalen Schraube bei einem Anziehdrehmoment M_A , das zum Erreichen der Mindestvorspannkraft $F1$ von 15 kN ausreicht, aufgrund der großen Toleranz ΔF auch eine Vorspannkraft $F2$ von 30 kN erreicht werden, die größer ist als die zulässige bzw. empfohlene maximale Anziehungskraft von 25 kN. Es muß deshalb eine Schraube mit höherer Festigkeit oder eine größere Schraube, z.B. eine M12-Schraube, eingesetzt werden. Wird dagegen eine erfindungsgemäß ausgebildete Schraube verwendet, so liegt der zu dem Anziehdrehmoment M_A gehörende Toleranzbereich $\Delta F'$ zwischen 15 und 24 kN und übersteigt somit nicht den empfohlenen Maximalwert von 25 kN. Es kann somit eine M10-Schraube der Güte 8.8 ohne Sicherheitsbedenken eingesetzt werden.

Falls die in Fig. 1 gezeigte Schraube eine M10-Schraube ist, gelten vorzugsweise die folgenden Abmessungen:

Schaftdurchmesser D_s	=	10 mm;
Innendurchmesser D_i des Vorsprungs 11	=	11 mm;
Außendurchmesser D_a	=	14 mm;
Tiefe und Breite jeder der Nuten 13 und 15	=	1 mm;
mittlerer Durchmesser D_m des Außenbereichs 17		

- 8 -

der Auflagefläche = 20 mm;
Außendurchmesser des
Bundes 5 des Schrauben-
kopfes = 25 mm.

Der Überstand h des ringförmigen Vorsprungs 11 über den Außenbereich 17 der Auflagefläche kann berechnet werden nach der Formel

$$h = \frac{h_o \cdot F_v \cdot 4}{(D_o^2 - D_i^2) \cdot E \cdot \pi}$$

wobei h_o die gesamte axiale Höhe des Vorsprungs 11, vom Boden der Nuten 13, 15 aus gemessen, bedeutet, F_v diejenige Vorspannkraft ist, bei der der Überstand h verschwinden soll, E das Elastizitätsmodul des Werkstoffs der Schraube ist und D_o und D_i der Außen- und Innendurchmesser des Vorsprungs 11 sind. Ein Rechnungsbeispiel mit typischen Zahlenwerten führt zu dem Wert $h = 0,01$ mm.

Die Vorspannkraft F_v , bei der der Überstand h des Vorsprungs 11 durch Deformation verschwindet, ist vorzugsweise mindestens annähernd gleich der für den jeweiligen Schraubentyp geforderten Mindestvorspannkraft F_l . Weicht die genannte Vorspannkraft F_v von der empfohlenen Mindestvorspannkraft F_l ab, so bedeutet dies, daß in Fig. 6 der Punkt X, bei dem sich die Steigung der Kurve B ändert, unterhalb oder oberhalb der Mindestvorspannkraft F_l liegen würde.

Der erfindungsgemäß vorgesehene, verformbare Vorsprung braucht nicht an der Auflagefläche des Schraubenkopfes vorzusehen sein, sondern kann sich auch an der Gegenfläche befinden, mit der der Schraubenkopf zusammenwirkt. Es dürfte aber in der Regel unzweckmäßig sein, einen solchen verformbaren Vorsprung an einem mittels der Schraube zu befestigenden Konstruktionsteil auszubilden. Dagegen ist es erfindungsgemäß möglich und vorteilhaft, den Vorsprung an einer Beilagscheibe anzubringen, die zwischen dem Schraubenkopf und dem zu befestigenden Konstruktionsteil angeordnet wird. Ein solches Ausführungsbeispiel zeigt Fig. 2. Zwischen dem z.B. als Sechskantkopf ausgebildeten Kopf 23 einer Schraube

21 und einem mit dieser zu befestigenden Konstruktionsteil 25 ist eine Beilagscheibe 27 angeordnet. Diese weist an ihrer dem Schraubenkopf 23 zugewandten Oberseite ein ringförmigen Vorsprung 29 auf, der gegen die ebene Unterseite des Schraubenkopfes 23 anliegt und dieselbe Rolle spielt wie der Vorsprung 11 der in Fig. 1 gezeigten Schraube. Der Vorsprung 29 ist vorzugsweise unmittelbar angrenzend an den radial inneren Rand der Beilagscheibe 27 angeordnet, so daß nach Erreichen einer vorgegebenen Vorspannkraft, bei der der Vorsprung 29 ausreichend verformt worden ist, der radial weiter außen liegende Bereich 31 der Beilagscheibe 27 in Anlage und Reibungskontakt mit der Unterseite des Schraubenkopfes 23 gelangt. Für die Dimensionierung des ringförmigen Vorsprungs 29 gelten dieselben Überlegungen, wie sie anhand von Fig. 1 erläutert wurden.

Die Erfindung ist nicht auf die in Fig. 1 und 2 gezeigten Ausführungsformen mit einem einzigen ringförmigen Vorsprung beschränkt. Es können z.B. mehrere ringförmige Vorsprünge mit unterschiedlichen, nach radial außen abnehmenden Höhen vorgesehen sein. Ein entsprechendes Ausführungsbeispiel zeigt Fig. 3. Der Kopf 33 der dargestellten Bundschraube hat an seiner Unterseite eine Auflagefläche mit einem inneren Ringvorsprung 35, einem radial weiter außen liegenden Ringvorsprung 37 und einem radial äußersten ringförmigen Bereich 39 der Auflagefläche, die voneinander durch ringförmige Nuten, wie dargestellt, getrennt sind. Der innere Ringvorsprung 35 hat gegenüber der äußeren Ringfläche 39 einen Überstand (Höhendifferenz) h_1 , der größer, z.B. doppelt so groß ist wie der Überstand h_2 des mittleren Ringvorsprungs 37. Beim Festziehen der Schraube kommt zuerst der innere Ringvorsprung 35 an der ebenen Gegenfläche des Konstruktionsteils oder einer Beilagscheibe zur Anlage, danach mit zunehmender Vorspannkraft und Verformung des Vorsprungs 35 kommt der Vorsprung 37 zur Anlage an die Gegenfläche, und bei noch weiter zunehmender Vorspannkraft schließlich die äußere Ringfläche 39. Es tritt somit zweimal die oben anhand von Fig. 1 und 6 beschriebene abrupte Zunahme des Reibungswiderstandes ein, wodurch eine noch

stärkere Abnahme des Toleranzbereichs ΔF der Vorspannkraft (Fig. 5) erzielt werden kann.

Der erfindungsgemäße, deformierbare Vorsprung braucht kein ringförmiger Vorsprung zu sein. Es können auch Vorsprünge mit nicht ringförmiger Grundfläche verwendet werden, z.B. rechteckige Vorsprünge oder Vorsprünge in Form von Ringsegmenten. Wichtig ist auf jeden Fall, daß der Vorsprung oder die Vorsprünge möglichst im radial inneren Bereich der Auflagefläche angeordnet sind, so daß nach ausreichender Verformung des Vorsprungs oder der Vorsprünge ein radial weiter außen liegender Bereich der Auflagefläche zur Anlage an der Gegenfläche gelangt.

Das Profil des Vorsprungs oder der Vorsprünge, im Axialschnitt der Schraube gesehen, braucht nicht rechteckig zu sein, wie bei den Ausführungsformen nach Fig. 1, 2 und 3. Der Vorsprung kann auch ein rundes, dreieckiges, trapezförmiges usw. Querschnittsprofil aufweisen. Ein Beispiel für ein besonders bevorzugtes Profil zeigt Fig. 4. Der Schraubenkopf 41 der in Fig. 4 dargestellten Schraube hat an seiner Unterseite eine Auflagefläche mit einem Vorsprung 43, dessen Stirnfläche 45 nicht in einer Radialebene liegt, sondern nach radial außen abgeschrägt bzw. konisch verläuft. Beim Anziehen der Schraube gelangt der Vorsprung 43 zuerst mit seinem radial inneren Randbereich zur Anlage an die Gegenfläche des Konstruktionsteils. Auch der den Vorsprung 43 umgebende ringförmige Außenbereich 47 kann abgeschrägt, d.h. konisch ausgebildet sein, und zwar nach radial innen so daß sein radial äußerer Rand zuerst zur Anlage an der Gegenfläche gelangt. Hierdurch wird der oben anhand von Fig. 1 und Fig. 6 beschriebene Effekt noch zusätzlich verstärkt.

Ein weiteres, bevorzugtes Merkmal der Erfindung, das bei allen beschriebenen Ausführungsformen Verwendung finden kann, besteht darin, daß die Stirnfläche des Vorsprungs 11 und der radial weiter außenliegende Bereich 17 der Auflagefläche Oberflächen mit unterschiedlichen Reibungseigen-

schaften sind, und zwar derart, daß die Reibungszahl μ des Vorsprungs 11 wesentlich kleiner als die Reibungszahl μ des Außenbereichs 17 der Auflagefläche ist. Hierdurch wird der mit der Erfindung angestrebte Effekt, nämlich die plötzliche Erhöhung des Reibwiderstandes, wenn beim Festziehen der Schraubverbindung eine bestimmte Vorspannkraft erreicht wurde, noch deutlich verstärkt. Die unterschiedlichen Reibseigenschaften der Stirnfläche des Vorsprungs 11 und des Außenbereichs der Auflagefläche 17 können mit beliebigen, dem Fachmann geläufigen Mitteln der Oberflächenbehandlung erzielt werden. Beispielsweise kann die Stirnfläche des Vorsprungs 11 poliert und/oder mit einer reibungsarmen Beschichtung versehen werden, und/oder es kann selektiv unter dem Vorsprung 11 ein Schmiermittel aufgebracht werden. Stattdessen oder zusätzlich kann der Außenbereich 17 der Auflagefläche aufgeraut und/oder mit einer reibungsverstärkenden Beschichtung versehen werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Festziehen einer Schraubverbindung, die ein Verbindungselement der beschriebenen Art erhält, wird im folgenden anhand von Fig. 7 erläutert. Fig. 7 zeigt die Abhängigkeit des Drehmomentes M vom Drehwinkel ϕ beim Festziehen einer Schraubverbindung. Die Kurve A zeigt den typischen Verlauf einer Drehmoment-Drehwinkel-Kurve für einen gegebenen Reibwert μ_1 . Die Kurve B zeigt den gleichen typischen Verlauf für einen niedrigeren Reibwert μ_2 . Nach einem steilen oder unregelmäßigen Anfangsabschnitt, der dem Aufsetzen des Schraubenkopfes auf der Unterlage entspricht, hat jede Kurve A oder B einen linearen Verlauf, der die zunehmende elastische Vorspannung der Schraubverbindung wiedergibt. Am Ende des linearen Abschnitts kann sich ein abgeflachter Abschnitt anschließen, der ein Abnehmen des Drehmomentanstiegs als Folge einer plastischen Verformung der Schraubverbindung anzeigt. Innerhalb des linearen Teils der Kurve A oder B hat deren Steigerung, d.h. das Verhältnis zwischen der Drehmomentzunahme und der entsprechenden Winkelzunahme, der sogenannte Differenzenquotient $\Delta M / \Delta \phi$, einen konstanten Wert. Es ist bekannt, während des Schraubvorgangs, z.B. mit einem mit

Drehmomentsensor und Winkelgeber versehenen Schraubgerät, den Differenzenquotienten $\Delta M/\Delta \varphi$ laufend zu erfassen und zur Steuerung des Schraubvorgangs (DE-OS 2751885) oder zum Erkennen fehlerhafter Schraubverbindungen (EP 0 587 653 B1) verwendet wird.

Bei einer erfindungsgemäßen Schraubverbindung tritt, wie erläutert, bei Erreichen einer bestimmten Vorspannkraft (z.B. Punkt X in Fig. 6) eine plötzliche Erhöhung des Reibwiderstandes für das weitere Anziehen der Schraubverbindung ein. Dies hat zur Folge, daß sich auch der Zusammenhang zwischen dem Drehmoment und Drehwinkel ändert. Wenn z.B. in Fig. 7 die Kurve B einem Wert $\mu_2 = 0,08$ entspricht und somit mit der Kurve B' von Fig. 6 zu vergleichen ist, dann wird bei dem Drehmoment M_1 der Punkt X erreicht, in welchem die Höhendifferenz h des Vorsprungs 11 (Fig. 1) verschwindet und der Außenbereich 17 in Reibkontakt gelangt. Die damit eintretende abrupte Erhöhung des Reibungswiderstandes führt auch dazu, daß eine abrupte Änderung des Anstiegs des Drehmoments über den Drehwinkel erfolgt, wie in Fig. 7 mit der strichpunktierten Kurve B' angedeutet. Entsprechend wird auch die Drehmoment-Drehwinkelkurve A, die für den Reibwert $\mu_1 = 0,16$ gilt, bei Erreichen des Drehmoments M_A , d.h. im Punkt Y, eine abrupte Änderung ihres Anstieges erfahren, wie durch die strichpunktierte Kurve A' in Fig. 7 angedeutet. Es tritt somit in den Punkten X bzw. Y eine abrupte Erhöhung des Differenzenquotienten $\Delta M/\Delta \varphi$ ein. Erfindungsgemäß wird der Schraubvorgang so gesteuert, daß während des Festziehens der Schraube laufend der Differenzenquotient $\Delta M/\Delta \varphi$ gemessen wird und daß bei einer plötzlich einsetzenden Zunahme des Differenzenquotienten $\Delta M/\Delta \varphi$ das Festziehen der Schraubverbindung beendet wird. Wie aus Fig. 7 ersichtlich kann auf diese Weise das Festziehen der Schraubverbindung genau bei denjenigen Werten des Drehmomentes M_1 bzw. M_A beendet werden, die gemäß Fig. 6 der Mindestvorspannkraft F_1 entsprechen. Dies führt zu einem definierten Festziehen der Schraubverbindung auf die definierte Mindestvorspannkraft F_1 unabhängig von den jeweils vorliegenden Reibungszahlen.

Ansprüche

1. Verbindungselement in Form einer Schraube, Mutter oder Scheibe für eine Schraubverbindung, wobei das Verbindungselement eine ringförmige Auflagefläche zur Anlage an einer entsprechenden Gegenfläche aufweist und in der Auflagefläche mindestens ein Vorsprung (11) angeordnet ist,

dadurch gekennzeichnet, daß der Vorsprung (11) eine vorgegebene Höhendifferenz (h) gegenüber einem radial außerhalb des Vorsprungs (11) liegenden Flächenbereich (17) der Auflagefläche hat, und daß die Höhe und die Flächenabmessungen des Vorsprungs (11) so bemessen sind, daß beim Festschrauben der Schraubverbindung der an der Gegenfläche anliegende Vorsprung (11) bei Erreichen einer vorgegebenen Vorspannkraft der Schraubverbindung soweit verformt und in seiner Höhe verringert wird, daß der radial außerhalb liegende Flächenbereich (17) der Auflagefläche zur Anlage an der Gegenfläche gelangt.

2. Verbindungselement nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß der Vorsprung (11) ringförmig ist.

3. Verbindungselement nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet, daß der Vorsprung (11) von Nuten (13, 15) begrenzt ist, wobei die Tiefe der Nuten (13, 15) die axiale Höhe des Vorsprungs (11) bestimmt.

4. Verbindungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Vorsprünge (35, 37) unterschiedlicher Höhe vorgesehen sind.

5. Verbindungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, daß die Stirnfläche des oder jenes Vorsprungs geneigt verläuft derart, daß der Vorsprung in seinem radial innersten Bereich seine größte Höhe hat.

6. Verbindungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, daß der radial außerhalb des Vorsprungs liegende äußere Flächenbereich (47) der Auflagefläche abgeschrägt verläuft derart, daß er an seinem radial äußersten Rand die größte Höhe hat.
7. Verbindungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnittsfläche des Vorsprungs oder aller Vorsprünge, im achssenkrechten Querschnitt des Verbindungselements gesehen, nicht größer ist als die Querschnittsfläche des Schaftes der Schraube der Schraubverbindung.
8. Verbindungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, daß die Stirnfläche des Vorsprungs (11) und der radial außerhalb des Vorsprungs (11) liegende Flächenbereich (17) der Auflagefläche unterschiedliche Reibungseigenschaften haben derart, daß die Reibung an der Gegenfläche unter dem Vorsprung (11) deutlich geringer ist als unter dem radial außerhalb liegenden Flächenbereich (17).
9. Verbindungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, daß das Verbindungselement eine Schraube ist und die Vorsprünge an der Unterseite des Schraubenkopfes angeordnet sind.
10. Verbindungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, daß das Verbindungselement eine Scheibe ist und der Vorsprung auf der Seite der Scheibe angeordnet ist, die beim Montieren der Schraubverbindung dem Schraubenkopf zugewandt ist.
11. Schraubverbindung mit einem Verbindeelement in Form einer Schraube, Mutter und/oder Scheibe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10.
12. Verfahren zum Festziehen einer Schraubverbindung gemäß Anspruch 11, bei dem während des Festziehens der Schraub-

- 15 -

verbindung laufend das Drehmoment (M) und der Drehwinkel (φ) gemessen und der Differenzenquotient ($\Delta M / \Delta \varphi$) berechnet wird,

dadurch gekennzeichnet, daß das Festziehen der Schraubverbindung in Abhängigkeit von einer während des Festziehens festgestellten plötzlichen Zunahme des Differenzenquotienten ($\Delta M / \Delta \varphi$) beendet wird.

$\frac{1}{4}$

FIG 1

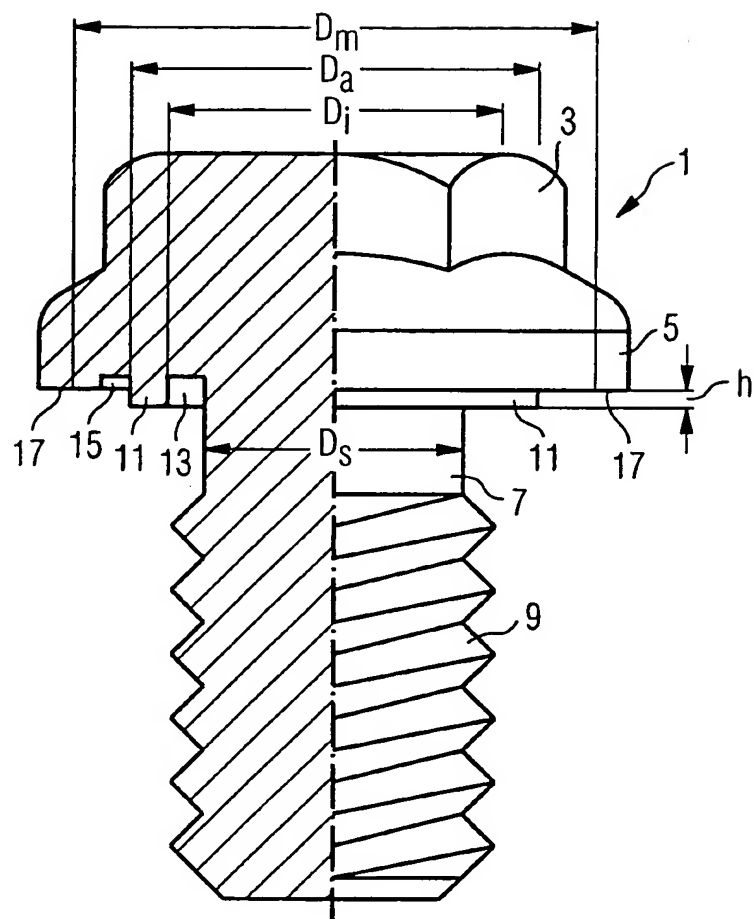


FIG 2

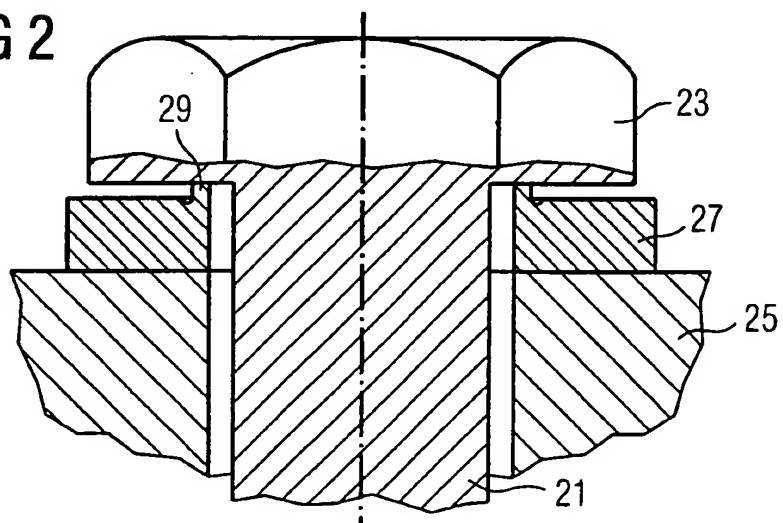


FIG 3

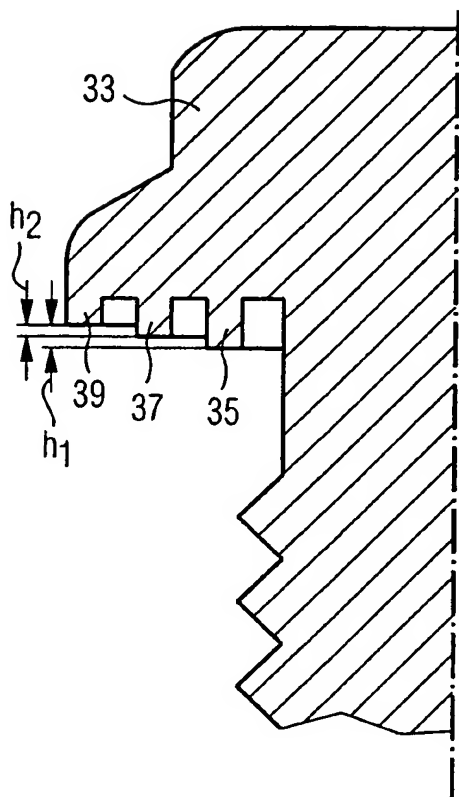
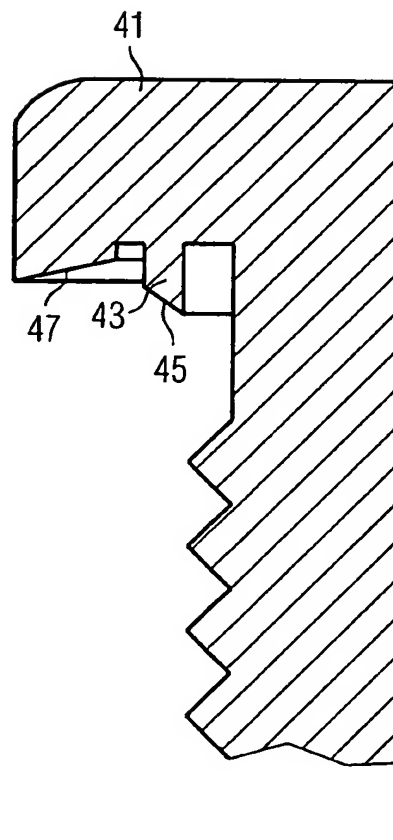


FIG 4



3/4

FIG 5

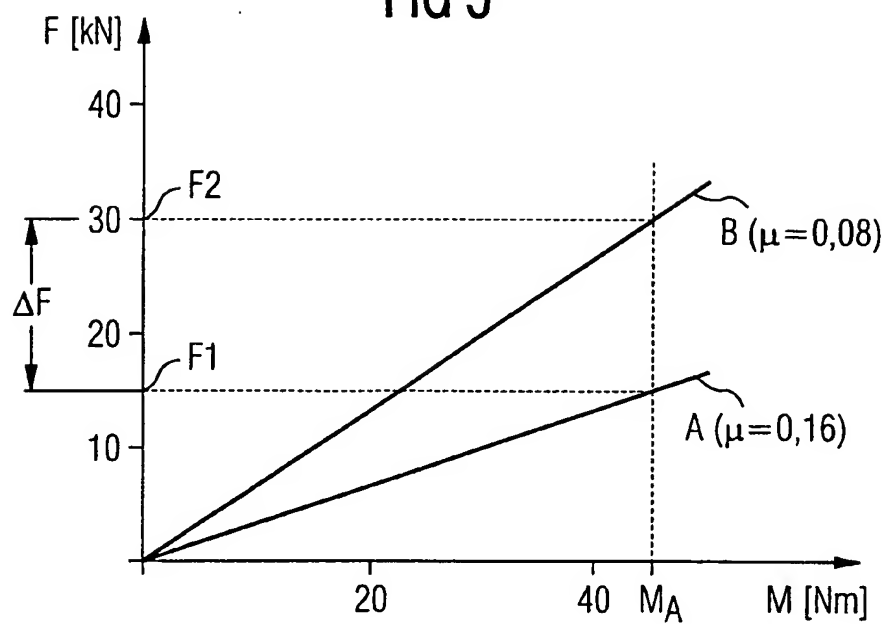


FIG 6

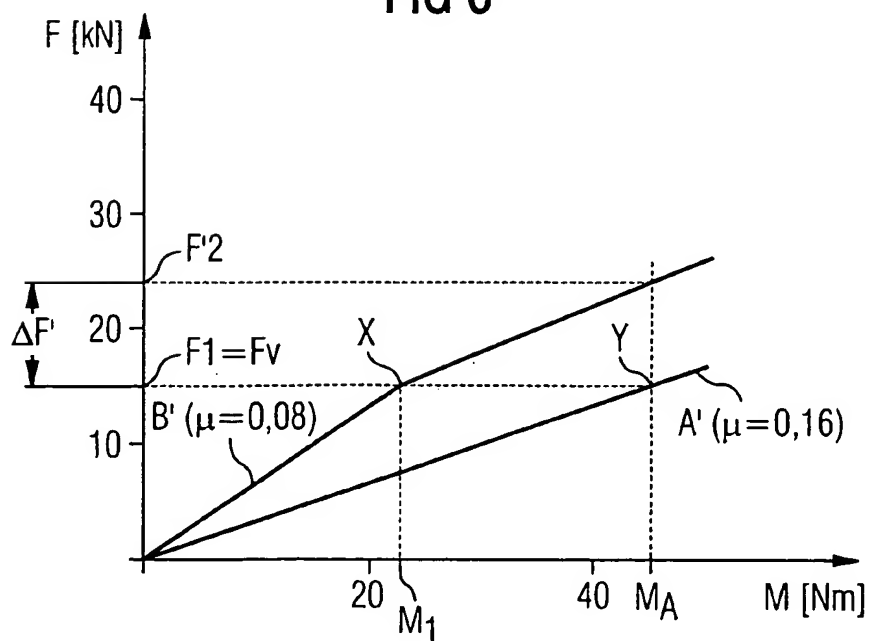
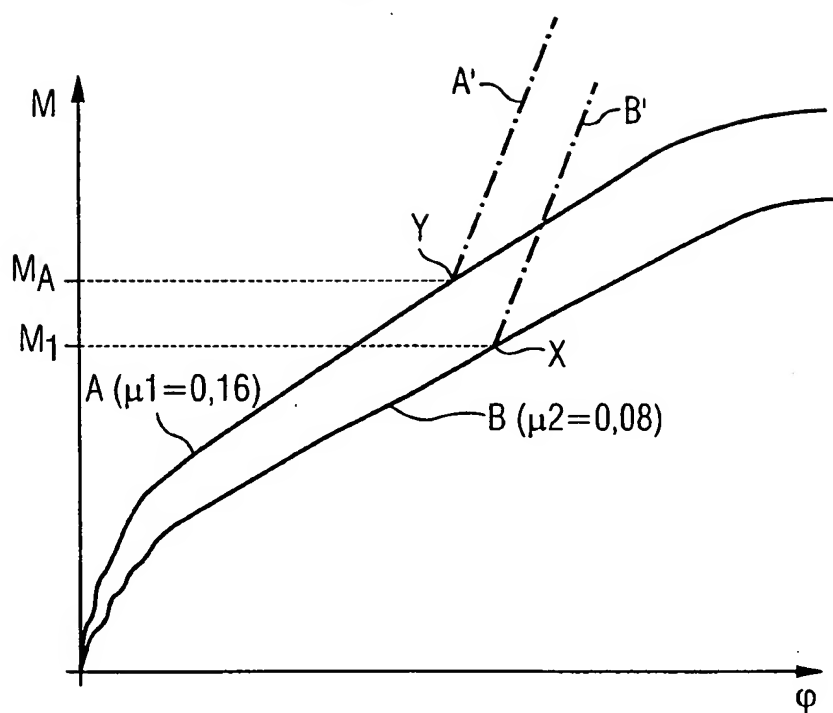


FIG 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 01/00504

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F16B39/282 F16B31/02 G01L5/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F16B G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 851 321 A (FRITZ DANN; CARL FRIEDRICH BERGNER) 12 October 1960 (1960-10-12) page 1, line 49 - line 72 page 2, line 76 - page 3, line 29 claims 4,5 figures 1-4	1,2,9, 11,12
X	US 3 974 685 A (WALKER RICHARD A) 17 August 1976 (1976-08-17) abstract column 7, line 23 - column 8, line 20 figures 5-7	1,2,10, 11
A	US 4 703 711 A (HAYNES JOHN M) 3 November 1987 (1987-11-03) abstract figure 1	1,3



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 May 2001

Date of mailing of the international search report

29/05/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Granger, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/00504

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 851321	A	12-10-1960	DE 1069955 B FR 1210166 A	07-03-1960
US 3974685	A	17-08-1976	DE 2541929 A FR 2285653 A GB 1526947 A JP 1272317 C JP 51057097 A JP 58030115 B SE 413295 B SE 7510452 A	08-04-1976 16-04-1976 04-10-1978 11-07-1985 19-05-1976 27-06-1983 19-05-1980 22-03-1976
US 4703711	A	03-11-1987	AT 61089 T AU 594320 B AU 5269286 A CA 1307172 A DE 3677614 D EP 0194007 A	15-03-1991 08-03-1990 31-07-1986 08-09-1992 04-04-1991 10-09-1986

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen

PCT/EP 01/00504

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 F16B39/282 F16B31/02 G01L5/24

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F16B G01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GB 851 321 A (FRITZ DANN; CARL FRIEDRICH BERGNER) 12. Oktober 1960 (1960-10-12) Seite 1, Zeile 49 - Zeile 72 Seite 2, Zeile 76 - Seite 3, Zeile 29 Ansprüche 4,5 Abbildungen 1-4	1,2,9, 11,12
X	US 3 974 685 A (WALKER RICHARD A) 17. August 1976 (1976-08-17) Zusammenfassung Spalte 7, Zeile 23 - Spalte 8, Zeile 20 Abbildungen 5-7	1,2,10, 11
A	US 4 703 711 A (HAYNES JOHN M) 3. November 1987 (1987-11-03) Zusammenfassung Abbildung 1	1,3

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

8 Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. Mai 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29/05/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040. Tx. 31 651 epo nl.
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Granger, H

INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Informationen Aktenzeichen

PCT/EP 01/00504

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 851321 A	12-10-1960	DE 1069955 B FR 1210166 A	07-03-1960
US 3974685 A	17-08-1976	DE 2541929 A FR 2285653 A GB 1526947 A JP 1272317 C JP 51057097 A JP 58030115 B SE 413295 B SE 7510452 A	08-04-1976 16-04-1976 04-10-1978 11-07-1985 19-05-1976 27-06-1983 19-05-1980 22-03-1976
US 4703711 A	03-11-1987	AT 61089 T AU 594320 B AU 5269286 A CA 1307172 A DE 3677614 D EP 0194007 A	15-03-1991 08-03-1990 31-07-1986 08-09-1992 04-04-1991 10-09-1986